

МНОЖЕСТВЕННЫЕ ОБРАЗЫ В СИГНАЛЕ ОТ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПРОФИЛИРОВАНИИ КОМПАКТНЫМ ЗОНДОМ С РАЗНЕСЕННЫМИ КАТУШКАМИ

Балков Е.В.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, BalkovEV@ipgg.nsc.ru

Введение

В настоящее время методы электромагнитного зондирования и профилирования весьма популярны при решении малоглубинных задач и находят широкое применение в таких областях как, например, экология, инженерная геофизика, археология и почвоведение. В последние десятилетия был разработан и успешно применяется ряд одночастотных и многочастотных электромагнитных приборов (среди них EM-31, EM-34, EM-38, производимые компанией Geonics; GEM-2, GEM-3, производимые Aeroquest; CMD – Explorer, производимая GF Instruments и т.д.). Упомянутые устройства могут быть использованы для поиска локальных проводящих объектов, например, таких как неразорвавшиеся боеприпасы или промышленные отходы. Часть аппаратуры предназначена для зондирования и профилирования, часть только для профилирования. Схема измерения бывает двух- или трехкатушечной, с компенсацией прямого поля. Катушки могут быть либо разнесенными, либо концентрическими. В малоглубинных реализациях первые имеют универсальное предназначение, вторые, как правило, используются только для поиска локальных неоднородностей удельного сопротивления грунта. В настоящей работе рассматриваются разнесенные системы.

Целью исследования является изучение сигнала двух и трехкатушечных реализаций электромагнитной аппаратуры, работающей в частотной области, над локальными проводящими аномалиями.

Моделирование

В первую очередь рассмотрен двухкатушечный зонд. Катушки зонда и проводящий объект аппроксимированы вертикальными магнитными диполями. Выражения для расчета напряженности магнитного поля и э.д.с. в однородном проводящем пространстве приведены ниже:

$$H_z^t = -\frac{I_t M_t}{4\pi R^3} \left(\frac{3r^2}{R^2} + \frac{3kr^2}{R} + k^2 r^2 - 2 - 2kR \right) e^{-kR},$$

где $k^2 = i\omega\mu_0\sigma$, r и R – цилиндрический и сферический радиусы, I_t и M_t – ток и момент генераторной катушки, σ – электропроводность среды.

$$\varepsilon_d = i\omega\mu_0 M_d H_z(r_d), \quad I_d = \varepsilon_d / Z_d,$$

где I_d , M_d , r_d , ε_d , Z_d – ток, момент, положение, э.д.с., полное сопротивление вторичного источника.

Генераторная катушка индуцирует э.д.с. в локальном объекте (точечный приемник – диполь). Затем вычисляется ток, индуцированный в этом приемнике и далее, используя его уже в качестве источника, рассчитывается вторичная э.д.с. в приемной катушке.

Моделирование проведено для устройства, имеющего пять разносов и соответствующих рабочих частот. Таким образом, осуществляемое зондирование является комбинацией частотного и геометрического (схема аналогичная реализованной в приборе CDM explorer, только с фиксированной генераторной катушкой). Профильные диаграммы имеют несколько экстремумов (рис. 1). При глубинах, не превышающих 1 м, большинство диаграмм имеют два экстремума, соответствующих проводящему объекту. При наличии нескольких подобных объектов диаграммы сигнала довольно сложны для корректной

интерпретации. При погружении проводника на глубину до 2 м на профильных кривых остается один преобладающий максимум.

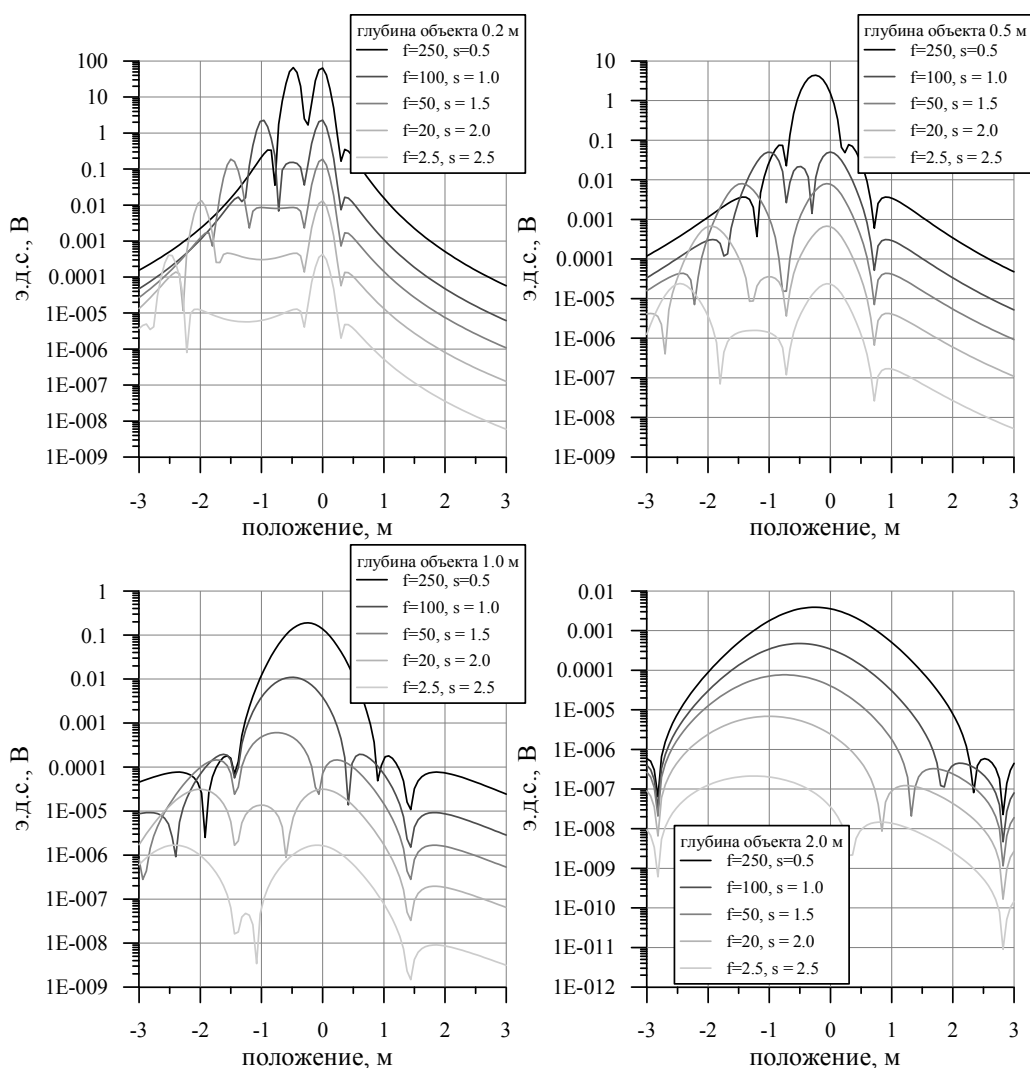


Рис. 1 Синтетический сигнал двухкатушечного зонда, в котором используются пять частот (2.5-250 кГц) и пять разносов (0.5 м – 2.5 м), над локальным проводящим объектом, расположенном на нескольких глубинах (0.2, 0.5, 1.0, 2.0 м).

Далее моделирование было проведено для трехкатушечного зонда с фиксированными катушками (аппаратура ЭМС) [Балков, Манштейн, 2001]. Аппаратура по своему принципу аналогична прибору GEM2 за исключением увеличенного разноса (1.5 и 2.5 м) и частотного диапазона (от 2.5 кГц до 250 кГц). Сигнал был рассчитан по формулам, приведенным выше, примененным к случаю двух включенных на разность приемных катушек (диполей).

Здесь приведен сигнал, рассчитанный вдоль профиля 6 м на одной частоте (рис. 2). Видно, что сигнал над объектом расположенным на меньшей глубине имеет три образа, далее при погружении объекта начинают преобладать два, и на глубине более 1 м остается один. Последний находится на расстоянии около 1.4 м от генератора и может быть использован для определения точки записи аппаратуры.

Далее выполнено моделирование сигнала для площадки 2 x 6 м (рис. 2, внизу) при изменении глубины мишени от 0.1 до 2 м. 3D представление результатов демонстрируют форму сигнала, индуцированного локальным проводником. Изображения также наглядно демонстрируют наличие нескольких образов от одного объекта, при расположении последнего на малых глубинах и их вырождение в один преобладающий максимум сигнала при заглублинии проводника.

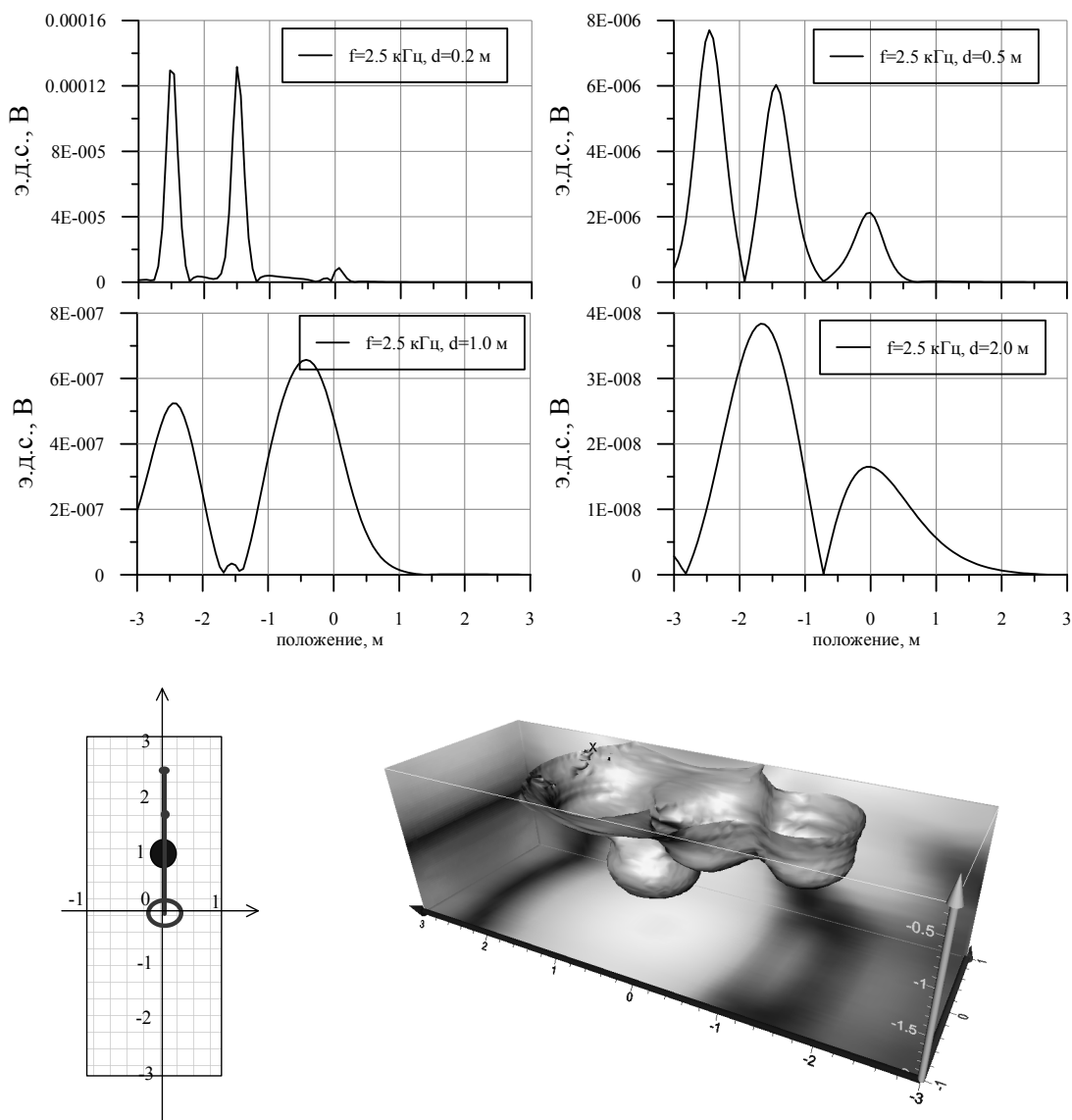


Рис. 2 (вверху) Синтетический сигнал трехкатушечного зонда на частоте 2.5 кГц над локальным проводящим объектом, расположенном на нескольких глубинах (0.2, 0.5, 1.0, 2.0 м); (внизу) Синтетическое площадное профилирование (2 x 6 м) над локальным проводящим объектом при изменении его глубины от 0.1 до 2 м.

Последняя часть моделирования была выполнена для двухкатушечного зонда, приемники которого расположены вдоль прямой, проходящей под углом к плоскости генератора (рис. 3). Остальные параметры катушек аналогичны параметрам зонда, рассмотренного первым. Такая конфигурация уменьшает отклик от объекта, когда над ним находится приемник, поэтому все диаграммы имеют только один выраженный максимум сигнала над локальным проводником (рис. 4). Это делает текущую конфигурацию наиболее выгодной среди рассмотренных для детектирования локальных неоднородностей, расположенных на небольших глубинах.

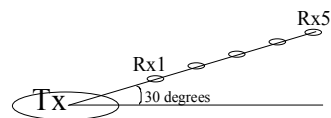


Рис. 3. Конфигурация катушек

Пример полевых данных

Аппаратура ЭМС была применена на электрометрическом полигоне Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Результат профилирования на частоте 2.5 кГц показан на рис. 4, справа. На исследованном участке на различной глубине заложены пять мишеней с различной пространственной ориентацией. Все мишени находятся на глубине не

более 1 м, поэтому обуславливают несколько образов в сигнале. Мишени, ориентированные горизонтально, создают два или три образа, что вполне согласуется с результатами математического моделирования. Вертикально ориентированные мишени создают более сложные аномалии, напоминающие по своей форме квадруполь. Таким образом, при интерпретации такого рода полевых данных необходимо привлекать результаты математического и физического моделирования.

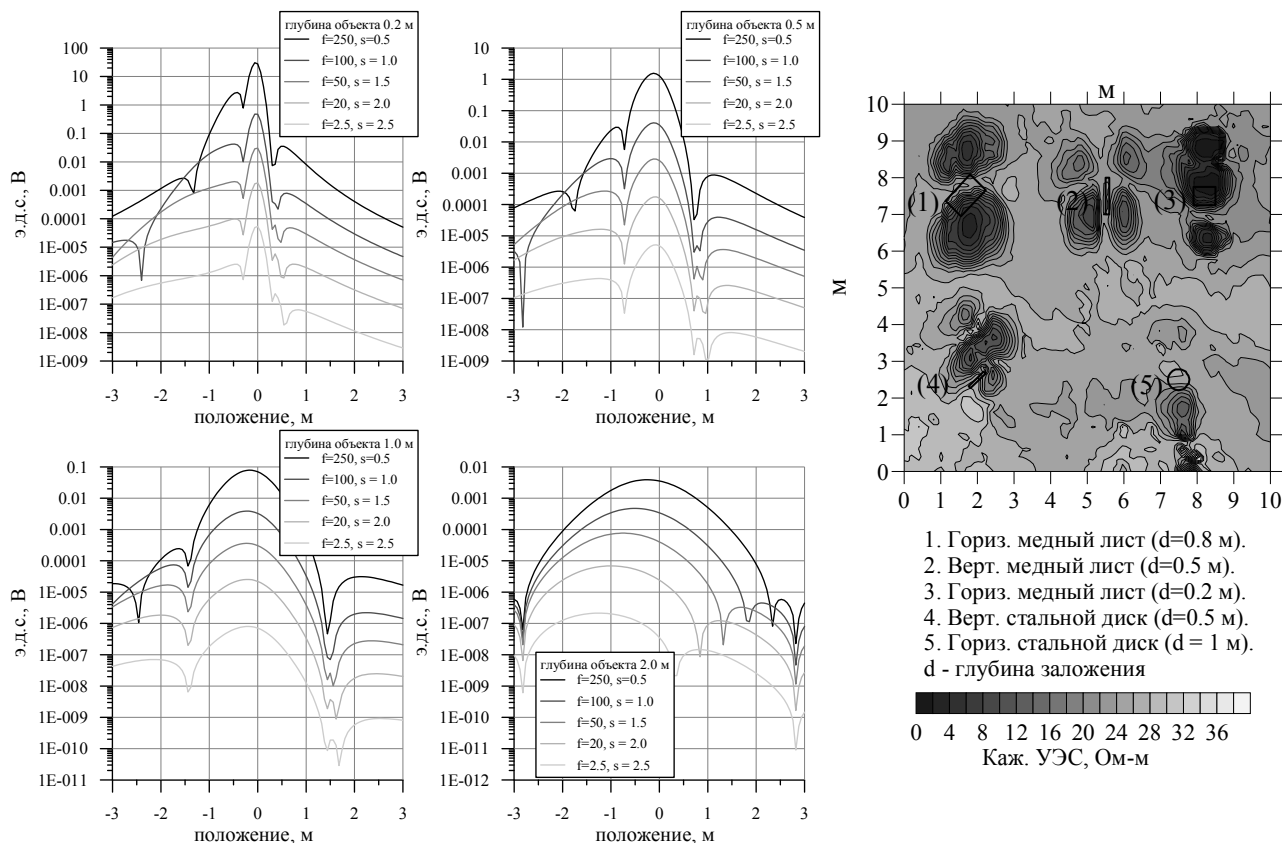


Рис. 4 (слева) Синтетический сигнал двухкатушечного зонда, катушки которого расположены вдоль прямой, проходящей под углом к плоскости генератора. Используются пять частот (2.5-250 кГц) и пять разносов (0.5 м – 2.5 м); над локальным проводящим объектом, расположенным на нескольких глубинах (0.2, 0.5, 1.0, 2.0 м); (справа) Результаты электромагнитного профилирования (аппаратура ЭМС, 2.5 кГц). Распределение кажущегося УЭС над металлическими мишенями.

Заключение

Теоретические и практические изыскания показывают, что аномальные локальные объекты создают достаточно сложный сигнал для компактных электромагнитных зондов, применяемых в настоящее время в мировой практике. Сигнал содержит от одного до четырех образов от одного аномального объекта. Предложенная конфигурация приемных катушек, расположенных вдоль прямой, проходящей под углом к плоскости генератора, обеспечивает единственную преобладающую аномалию сигнала над объектом.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант №09-05-01138-а, №09-06-00204-а), Президиума СО РАН (Интеграционный проект №16) и Государственного контракта № П1270 в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Список литературы

1. Балков Е.В., Манштейн А.К., 2001, Трехкатушечный индукционный зонд в частотном зондировании: Геофизический вестник, 12, 17 – 20.